

El lugar de la investigación-formación-innovación en la didáctica de las Ciencias de la Tierra: El caso del tiempo geológico

The role of research, training and innovation in Earth Sciences Education: The case of Geological Time

LUIS MARQUES¹, DORINDA REBELO², JORGE BONITO^{1,3}, MARGARIDA MORGADO⁴, VÍTOR TRINDADE³, JORGE MEDINA⁵, ANTÓNIO SOARES DE ANDRADE⁵, JOÃO PRAIA⁶, ALEXANDRE LEITE⁷ Y AURORA FUTURO⁷

¹ CIDTFF. Univ. Aveiro. Campus Universitario de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal. E-mail: luis@ua.pt

² Grup. Esc. Estarreja. R. Dr. Jaime Ferreira da Silva, 185, 3860-256 Estarreja, Portugal. E-mail: dorinda.rebelo@gmail.com

³ Esc. Cienc. Soc. Univ. Évora. R. Barba Rala, 1, PITE, 7005-345 Évora, Portugal. E-mail: jbonito@uevora.pt; vitor.manuel.trindade@gmail.com

⁴ Esc. Sec. Viriato, Estr. Velha de Abreveses, 169, 3511-951 Viseu, Portugal. E-mail: morgadomargarida@gmail.com

⁵ Dpto. Geociencias. GEOBIOTEC. Univ. Aveiro. Campus Universitario de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal. E-mail: jmedina@ua.pt; asandrade@ua.pt

⁶ Fac. Cienc. Univ. Porto, R. Campo Alegre, 1021/1055, 4169-007 Porto, Portugal. E-mail: jfpPraia@sapo.pt

⁷ Fac. Eng. Univ. Porto. CERENA Porto, R. Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, Portugal. E-mail: aleite@fe.up.pt; afuturo@fe.up.pt

Resumen El presente artículo, que aborda una temática, científica y educativamente relevante – el tiempo geológico – se desarrolla en tres fases y está basado en un proyecto de investigación centrado en la concepción, aplicación y evaluación de materiales curriculares con alumnos de 13/14 y 16/17 años de edad. Los resultados se utilizaron posteriormente en un seminario en la formación del profesorado. El estudio fue realizado por un grupo formado por profesores e investigadores portugueses. En la primera sección, se hace referencia a la fundamentación teórica del artículo, marcada por la tríada investigación, formación e innovación en Didáctica de las Ciencias. La segunda sección presenta de forma sintética las finalidades del proyecto, su marco teórico, desde la complejidad del concepto de tiempo, a la relevancia curricular del tiempo geológico, y también la concepción que de él tienen los alumnos encuestados. La tercera sección se refiere a la formación del profesorado que ha tenido como base los materiales curriculares anteriormente elaborados y los resultados de su aplicación en el aula. Se señalan los objetivos de las sesiones, las metodologías usadas, destacando el papel intervencionista de los participantes. Se hace finalmente una apreciación global por los profesores tanto en lo que se refiere al tipo de formación desarrollada como en cuanto a la naturaleza de los materiales curriculares desarrollados y su adecuación a los niveles de edad de los alumnos.

Palabras clave: Formación de profesores, investigación didáctica en Ciencias de la Tierra, materiales curriculares, tiempo geológico.

Abstract *This paper addresses geological time as a scientifically and educationally relevant issue in Geosciences education. The article is structured in three parts, based on a research Project carried out by Portuguese secondary school teachers and researchers. The study, focused on the design, implementation and assessment of curriculum materials with students aged 13/14 and 16/17. The results were subsequently used in a science teacher education seminar. The first part is about the conceptual framework of the study and discusses mainly the interaction in the following triad: research, training and innovation in science education. The implications for teacher education are also emphasized. The second part approaches two points: the main aims of the project and its theoretical framework i.e. the difficult concepts of time and of deep time as well as their relevance for the science curriculum, on the one hand; and then the interviewed students' conceptions about geological time. The third part concerns the teacher education seminar based on the curriculum materials previously mentioned and also on the results of their use in the classroom. The aims of the sessions are presented, as*

well as the methodologies used, highlighting the relevant role played by the participants. Finally, an overall assessment is undertaken by the teachers, both concerning the nature of the curriculum materials developed, and their adequacy to the students' age levels. As a final comment the authors mention that the great majority of the teachers appreciated very much both the nature of the curricular materials and the seminar methodology and development.

Keywords: Curriculum materials, Geological time, Geosciences Education Research, Teacher Education.

El tiempo no es nada más que la distancia entre nuestros recuerdos.
Aristóteles (sig. IV a.C.)¹

INTRODUCCIÓN

En la base de este artículo está una investigación que se desarrolló en la universidad portuguesa de Aveiro, durante tres años, involucrando docentes de otras universidades y, también, profesores de las enseñanzas básica y secundaria. Se persiguieron tres grupos de finalidades: estudiar factores sociales y cognitivos influenciadores de las percepciones relativas al tiempo geológico; profundizar en el marco teórico sobre el tiempo; y en el sentido de las estrategias y recursos para la enseñanza de la Historia de la Tierra, valorando el sentido de la ciudadanía, las cuales fueron posteriormente discutidas y evaluadas en un seminario de formación de profesores. El estudio siguió un diseño cualitativo de multicasos, el cual fue aplicado en el curso de un estudio piloto que antecedió al estudio principal.

EL PAPEL DE LA TRÍADA INVESTIGACIÓN-FORMACIÓN-INNOVACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

Es reconocido por la OCDE (2015), entre otras organizaciones, que:

- Más del 12 % de la inversión pública en los países de la organización se hace en la Educación, tratando de generar en la ciudadanía una preparación más adecuada a las diferentes necesidades profesionales.
- Los profesores son un factor clave de una estrategia global que busca un desarrollo social más armonioso, no pudiendo su formación dejar de incorporar la matriz socio-científica envolvente.

La formación docente, particularmente de los profesores de ciencias (Pedrinaci, 2013) es, desde hace tiempo, una preocupación central de los autores del artículo, entendida por estos, y en concordancia con otros autores, como un proceso desafiante y complejo. Véase, en concreto, las conclusiones del Consejo de la Unión Europea sobre el desarrollo profesional de profesores (Consejo de la Unión Europea, 2009), en particular, en que debe procurarse, por ejemplo, que:

- i) todos los profesores cualificados reciban un apoyo y una orientación suficientes y eficaces durante los primeros años de sus carreras;
- ii) se fomente un planteamiento reflexivo que aliente tanto al profesorado recientemente titulado como a aquellos que posean una mayor experiencia a revisar constantemente su trabajo de manera individual y colectiva;
- iii) los programas de desarrollo profesional del profesorado sean pertinentes, se adapten a las necesidades, estén firmemente enraizados en la práctica y quede garantizada su calidad;
- iv) se anime al profesorado a participar en programas avanzados de formación y desarrollo, a realizar investigación pedagógica y a aprovechar las oportunidades para aumentar su conocimiento de otros sectores profesionales.

La tríada investigación-formación-innovación en Didáctica de las Ciencias es el marco escogido para contextualizar la investigación desarrollada. Los resultados de la investigación en Didáctica proporcionan indicadores científicamente validados para la formación del profesorado. También es claro que la innovación en Educación no proviene de un proceso secuencial, lineal y monodisciplinar.

Un ejemplo de la ausencia de linealidad en la articulación de los tres pilares citados es el difícil diálogo entre investigación educativa y las prácticas lectivas, con repercusión en el nivel de la formación. El alejamiento entre las dos (investigación y prácticas) es contextualizado en una dicotomía de la naturaleza de los papeles profesionales de investigadores y profesores. No deja de ser cierto, sin embargo, que se está logrando un entendimiento más amplio de los procesos de enseñanza y de aprendizaje y de sus respectivos contextos que pasa por valorar la contribución del trabajo del investigador a un proceder más adecuado de los profesores (García Cruz, 1998, 1999; Cruz *et al.*, 2008) y, por lo tanto, para un claro enriquecimiento de la innovación y del procedimiento didáctico en la formación del profesorado.

El presente artículo pretende, por una parte, atender a la necesidad de una formación del profesorado, que contemple una educación para la ciuda-

¹ Metafísica – Libro IV.

daña y, por otra, reflejar la articulación, no siempre fácil, entre investigación-formación e innovación.

El perfil de los autores – investigadores en Didáctica, investigadores en Geología y profesores – y la temática elegida – tiempo geológico y sus procesos de enseñanza y aprendizaje – son una plusvalía para tal reflexión.

EL TIEMPO GEOLÓGICO DESDE EL PUNTO DE VISTA DIDÁCTICO: UN ANÁLISIS CRÍTICO DE UN ESTUDIO

Con la perspectiva anterior de la tríada investigación-formación-innovación en la Didáctica de las Ciencias se desarrolló el proyecto de investigación sucintamente mencionado anteriormente en la Universidad de Aveiro, Portugal, entre 2008 y 2010.

El tiempo y la complejidad de su percepción

La complejidad del tema del tiempo llevó a la construcción de un cuadro teórico y reflexivo que fue la base de la investigación, que se justifica por el número de estudios que, en este campo, se han hecho, dada su importancia en Educación en Ciencias de la Tierra. La investigación (Marques y Thompson, 1997; Trend, 2000; Dodick y Orion, 2003; Decker *et al.*, 2007; Escribano Ródenas, 2008; Trend, 2009; Cervato y Frodeman, 2013; Pedrinaci *et al.*, 2013; Yoon y Peate, 2015) apunta a que se incluya el estudio del tiempo – a pesar de sus exigencias cognitivas – en la enseñanza contribuyendo a la educación cívica / política.

La percepción del tiempo es el resultado de un largo proceso de aprendizaje (Pedrinaci y García de la Torre, 1992). Su naturaleza permite comprender a investigadores como Malerba (1994) que, apoyándose en las posiciones de autores como Elías (1989), considera que la percepción del tiempo se manifiesta en la facultad humana de “vincular entre si dos o más secuencias distintas, de transformación continua”. En esta complejidad surge, de manera similar, que el cerebro humano sólo está preparado para cubrir una determinada dimensión o medida del tiempo, como resultado de la longitud media de la vida.

Después de las bien conocidas controversias sobre la edad de la Tierra hasta el siglo XVIII (Bonito *et al.*, 2011), en la actualidad, la comunidad científica acepta que la edad de la Tierra es de 4,54 Ga (Tera, 1981) con una incertidumbre de menos del 1 % (USGS, 2007). La complejidad inherente a la naturaleza filosófica y científica del tiempo, combinada con la dimensión de la escala de tiempo geológico, conduce a dificultades propias en la interpretación de los registros de eventos geológicos, con implicaciones educativas efectivas (Medina *et al.*, 2010).

Tiempo geológico y su relevancia curricular

La reflexión sobre el concepto de tiempo y el reconocimiento de su inmensidad, al nivel de Educación en Ciencias de la Tierra, es fundamental para el enriquecimiento de un pensamiento que permita entender el impacto que tienen los imperceptibles y lentos procesos, el nivel de cambios profundos como, por ejemplo, el caso la geomorfología (Rebelo *et al.*, 2009; Morgado *et al.*, 2010).

La introducción al estudio del tiempo geológico debe ser apoyada en estudios educativos (Pedrinaci y Berjillos, 1994), ya que el concepto de tiempo es esencial para el desarrollo de habilidades relacionadas con el pensamiento geológico.

Desde un punto de vista educativo, el estudio desarrollado ha permitido:

- i) Reconocer cómo los estudiantes, partiendo de sus propias experiencias del tiempo, construyen la escala en la que se inserta el pasado de la Tierra.
- ii) Discutir el papel de la narrativa de eventos recurrentes o analogías elaboradas.
- iii) Observar cómo se concilia la comprensión de los procesos relativos a los cambios espaciales profundos registrados en un paisaje que, aparentemente, es estático.
- iv) Analizar cómo se percibe el tiempo cuando no se encuentra explícitamente en el registro de los eventos conocidos por la humanidad.
- v) Reflexionar sobre las ventajas y los inconvenientes de enfoques más holísticos relacionados con el tema del tiempo, en conjunción con otros conceptos también complejos, tales como la energía, el trabajo o la masa.
- vi) Estudiar los resultados de la utilización de procesos que, generando más entropía sin que puedan ocurrir inversamente, contribuyen a reconocer, con menos dificultad, la irreversibilidad del tiempo.
- vii) Admitir que la lógica de los saberes separados y fragmentados solamente debe ocurrir dentro de sus propios contextos y en sintonía con la búsqueda de un marco dentro del ámbito de las cuestiones globales, que exigen la contribución de varias áreas disciplinares.
- viii) Desarrollar e implementar actividades prácticas diversificadas que ayuden a los alumnos a entender la complejidad de los fenómenos geológicos y la secuencia temporal de algunos acontecimientos, movilizando saberes de otras áreas del conocimiento (por ejemplo, Física, Química e Historia).

La investigación muestra que el enfoque curricular de conceptos complejos, tales como el concepto de tiempo geológico, requiere, de modo inaplazable, el desarrollo de una visión más multidimensional en que la Ciencia y la Filosofía son la base de un pensamiento holístico culturalmente enriquecedor, recogiendo las aportaciones de otras disciplinas y áreas del conocimiento. A pesar de estas posiciones, los autores optaron en este estudio por conceder, en la perspectiva de la Geología, un mayor relieve a las vertientes de la cronología y de la sucesión causal, dando menor énfasis a los conceptos de cambio y de facies (Pedrinaci, 1993).

Las concepciones del alumnado sobre la importancia del tiempo geológico

La concepción del tiempo se ve influida, como hemos visto, por muchos factores, incluyendo los de naturaleza afectiva. Uno organiza e interpreta, por supuesto, sus impresiones sensoriales, dándoles sentido. Comprender adecuadamente el concepto de tiempo geológico es un proceso complejo, que

resulta de la preparación que tiene el cerebro humano, solamente, para abarcar una cierta dimensión del tiempo, en consecuencia de la duración media de la vida humana (Ernst, 2000).

En el desarrollo del proyecto, los indicadores del estudio piloto, llevado a cabo en una muestra de conveniencia, revelan tendencias y resultados que indican la idoneidad de los objetivos formulados y por lo tanto la relevancia del propio proyecto de investigación (Rebello *et al.*, 2009).

A continuación, se trató de comprender las concepciones del alumnado de 12-13 años de edad sobre criterios de construcción de la escala de tiempo geológico, factores que lo afectan y edades, relativa y absoluta. Fueron encuestados, por muestreo de conveniencia, utilizando un cuestionario de auto-informe, 432 alumnos que en el año lectivo de 2008-2009 estaban en la enseñanza básica portuguesa (40,5 % con 12 años y 44,2 % con 13 años de edad), en las escuelas de las regiones del centro y norte de Portugal (51,4 % varones; 49,3 % viviendo en áreas urbanas).

Los resultados muestran que los estudiantes presentan dificultad en situar los fenómenos geológicos articulados con eventos sociales (31,5 %) y en razonar sobre la edad relativa (42,4 %), aunque, basados en imágenes, sean capaces de ordenar, adecuadamente, la sucesión cronológica de eventos geológicos (81,6 %). La mayoría (89,0 %) cree que partiendo de la edad relativa no es posible inferir la edad absoluta, sin embargo, una minoría (31,7 %) lo justifica. El estudio permitió dar cuenta, también, que para el 66,7 % de los alumnos, los eventos de la historia humana son un criterio utilizado en la elaboración de la escala de tiempo geológico, que es a su vez el resultado de divisiones equitativas de tiempo (59,0 %). El registro fósil se ha defendido como un criterio para la construcción del tiempo geológico (72,2 %), seguido de la extinción de las especies vivas (68,7 %).

Los alumnos también sugieren que hay factores que afectan a la comprensión del concepto de tiempo geológico, tales como la proximidad temporal y el concepto de abstracción. Cuanto más lejos (desde un punto de vista temporal) y abstracto sea un evento / fenómeno geológico más difícil es su comprensión.

Todos los criterios establecidos en el cuestionario prevalecen en la construcción de la escala de tiempo geológico (aunque algunos, como, por ejemplo, la precipitación y la geografía, no sean válidos), dando más importancia a unos en comparación con los demás. Los estudiantes conciben que el tiempo

geológico relata eventos cronológicamente muy distantes entre sí mismos (72,7 %), no presenciados por la especie humana (65,0 %), siendo un concepto demasiado complejo (62,0 %), que utiliza números muy grandes (60,1 %). El significado del lenguaje utilizado es estructurante para la comprensión de los conceptos. Así, por ejemplo, es poco probable que una colina cambie visiblemente de forma o altura durante nuestra vida, a pesar de que en un marco de tiempo geológico es probable que se erosione rápidamente. Las nociones de “rápido” y de “reciente” para un geólogo asumen significados distintos que su uso en el cotidiano, por lo que es preciso aclararlos adecuadamente.

Los resultados confirman la complejidad de entender el concepto de tiempo geológico y la necesidad de desarrollar materiales curriculares que faciliten la consecución de su extensión y la localización de los eventos significativos en la Historia de la Tierra (Bonito *et al.*, 2010).

La construcción de materiales curriculares debe tener en cuenta las concepciones del alumnado sobre el concepto de tiempo y el de tiempo geológico y los obstáculos epistemológicos para su aprendizaje. Implementados en diversas actividades prácticas (por ejemplo, de laboratorio, de investigación y de campo), deben promover la comprensión de la complejidad del concepto de tiempo geológico e integrarlo en la interpretación de los fenómenos y acontecimientos geológicos (Sequeiros *et al.*, 1996). De este modo, los estudiantes pueden valorar el concepto de tiempo geológico en el aprendizaje de las Ciencias de la Tierra, en la comprensión de la Historia de la Tierra y para su propio desarrollo personal, incluyendo su importancia en una vertiente de la ciudadanía.

Elaboración de materiales curriculares

En la continuación del estudio, fueron elaborados materiales curriculares, con la contribución de profesores de enseñanza básica y secundaria, educadores científicos y geólogos. Posteriormente, se utilizaron los materiales curriculares en el aula, con los alumnos de 7.º grado (12-13 años) y 12.º grado (17-18 años), y se evaluaron sus efectos sobre el aprendizaje.

Estos materiales partieron de la siguiente pregunta guía: ¿De qué modo la interpretación de la historia Tierra puede ayudar a comprender el concepto de tiempo geológico? Se encontraban organizados en cinco secciones, cada una con una sub-pregunta

<p>I-Tu historia... ¿Cuáles son los principales acontecimientos que enmarcan la historia de tu vida?</p>	<p>III - La historia de La Tierra y de la Vida... ¿Qué evidencias hay para ayudarnos a contar la historia de la Tierra y de la Vida?</p>
<p>II - La historia del ser humano... ¿Qué datos nos permiten contar la historia del Hombre?</p>	<p>IV - El ser humano y la evolución del planeta Tierra ¿De qué manera la interpretación de la historia de la Tierra nos puede ayudar a predecir su evolución?</p>
<p>V- El tiempo de la consciencia en la evolución... ¿El hombre sabrá habitar sabiamente el planeta Tierra?</p>	

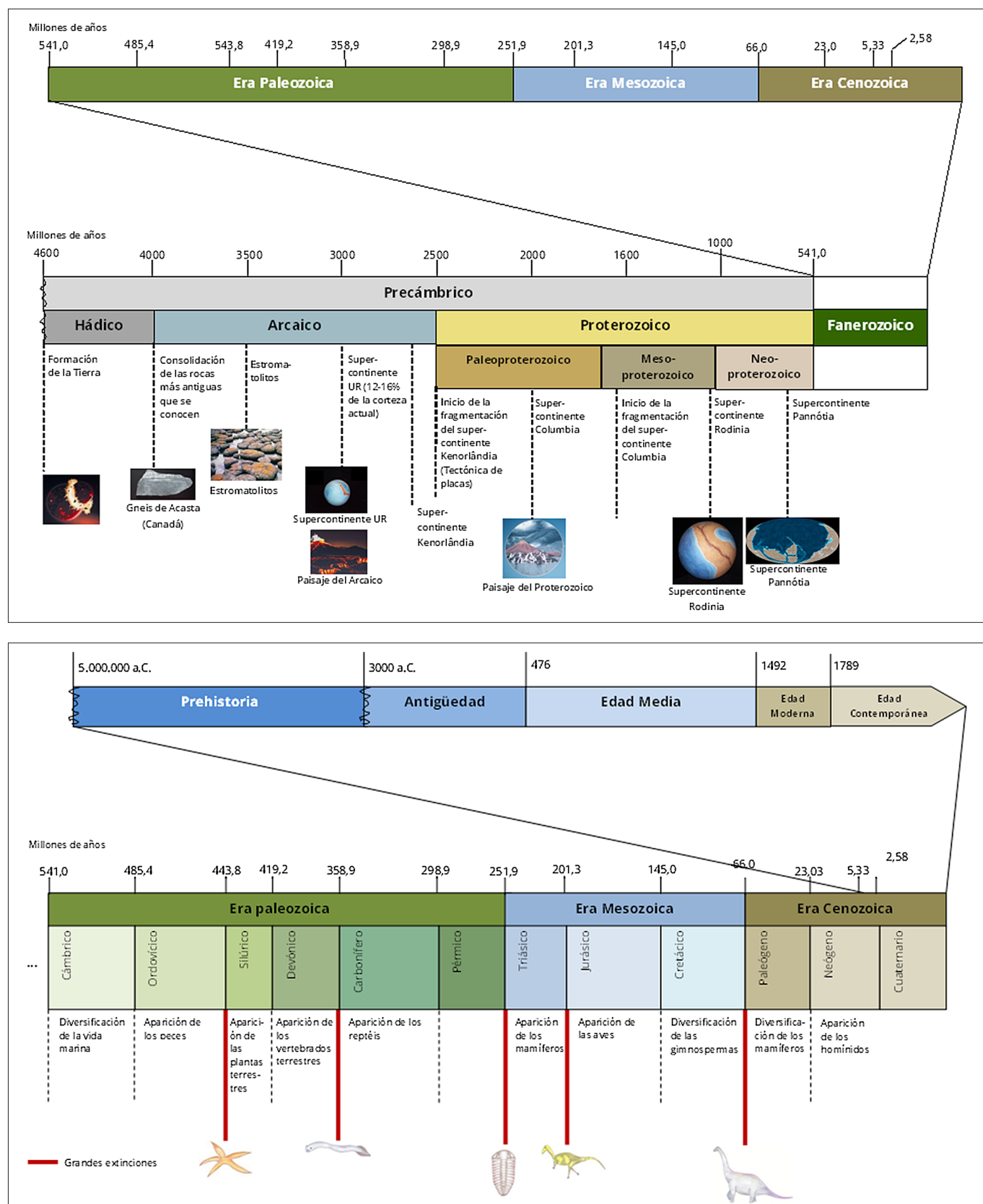
Fig. 1. Sub-preguntas orientadoras de las actividades propuestas en los materiales curriculares. Elaboración: autores.

específica (Fig. 1) y con un conjunto de actividades muy diversas (Rebello *et al.*, 2011).

Así, partiendo de la escala temporal humana experimentada por cada alumno (sub-pregunta I, Fig. 1) y pasando por la escala histórica (sub-pregunta II, Fig. 1), el alumnado se enfrenta a la escala geológica (Fig. 2) para dar respuesta a la sub-pregunta III

(Fig. 1). Con este enfoque se pretendió que tomaran conciencia de las diferentes escalas del tiempo y, de este modo, reflexionaran acerca de los impactos de sus acciones en el planeta, contribuyendo así a una ciudadanía más consciente e intervencionista en la promoción de la sustentabilidad del planeta Tierra, reflexionando sobre las sub-preguntas IV y V (Fig.1)

Fig. 2. Escala de tiempo geológico. Elaboración: autores.



Estos materiales fueron implementados y evaluados y los resultados sugieren que contribuyeron para una mejor comprensión del concepto de tiempo geológico y permiten la integración de varias disciplinas del conocimiento, en concreto, Historia, Física y Química (Medina *et al.*, 2013).

Los estudiantes reconocen que estos materiales promueven procesos de enseñanza y aprendizaje diversificados y motivadores y facilitan la comprensión de la historia de la Tierra. Los materiales curriculares impregnan una perspectiva del conocimiento científico, en articulación con la ciudadanía, como, de hecho, es defendida por algunos autores (p.ej., Davis, 2016). En este tema, de difícil comprensión, se sugiere la reflexión del alumnado ante nuevos desafíos, en particular para la historia de la acción humana sobre la sostenibilidad de un planeta con $4,54 \times 10^9$ años y una introspección simultánea de la conducta de cada uno como ciudadano garante de esta sostenibilidad. Los resultados muestran que es esperado que los enfoques adecuados inherentes al tiempo ayuden a estructurar mejor el razonamiento geológico, contribuyendo así al despertar de conciencias y al desarrollo de una ciudadanía más crítica y de intervención.

LA FORMACIÓN DEL PROFESORADO

A raíz de los resultados presentados en la sección anterior se ha concebido un programa de formación destinado a articular la investigación desarrollada con las prácticas lectivas del profesorado, procurando así mejorar el aprendizaje del alumnado. Por otro lado, se promovió la reflexión acerca de la naturaleza del conocimiento científico y de los procesos involucrados en su construcción (Rebelo *et al.*, 2011). Esta fue una forma de dar cuerpo a la tríada anteriormente referida como marco de este estudio: investigación-formación-innovación.

El programa de formación tuvo como tema *El Tiempo Geológico – De las Concepciones de los Alumnos a la Presentación de Materiales Didácticos Innovadores para la Enseñanza de la Geología* y pretendió colmar las necesidades de formación del profesorado de Ciencias de la Tierra relacionados con el tiempo geológico.

Se consideró que la formación continua del profesorado debe promover una profundización de conocimientos en diversas temáticas de las ciencias, especialmente las que son específicas de las Ciencias de la Tierra, así como proporcionar recursos didácticos que les permitan movilizar esos conocimientos al contexto del aula y de otros espacios de aprendizaje – laboratorio o ambientes del exterior (Clark y Carpenter, 2006; Pecore *et al.*, 2007). Así, la formación debe promover la reflexión y la discusión de estrategias normalmente usadas en el abordaje de temáticas geológicas y considerar la opinión de Grossman y Thompson (2008), sobre la necesidad de que en la formación de profesores se invierta en la concepción, organización e implementación de materiales didácticos que integren indicadores emergentes de la investigación, a través de la realización de actividades diversificadas (Morgado *et al.*, 2012).

Así, reconociendo la importancia de los saberes científicos y de los saberes didácticos del profesorado de Ciencias de la Tierra acerca de una temática compleja, como es la del tiempo geológico, se ha concebido un programa de formación continua con el formato de seminario. Se trataba de compartir indicadores emergentes de las diferentes fases del proyecto que sustentó este artículo, así como suscitar la reflexión acerca de la naturaleza de los materiales curriculares elaborados y el correspondiente proceso de construcción.

El seminario tuvo una duración de 16 h, participaron 61 profesores de Ciencias de la Tierra de las enseñanzas básicas y secundarias de Portugal, que se inscribieron voluntariamente y tuvo lugar en la Universidad de Aveiro. Con este seminario se pretendió alcanzar los siguientes objetivos:

- Profundizar en los saberes sobre el tiempo geológico y su enfoque didáctico.
- Analizar y discutir las creencias, convicciones y prácticas relativas a la importancia que el profesorado atribuye al concepto de tiempo geológico en la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias de la Tierra.
- Compartir las concepciones del alumnado relativas a la importancia que atribuyen al concepto de tiempo geológico en el aprendizaje de las Ciencias de la Tierra.
- Analizar y discutir materiales curriculares que ejemplifiquen enfoques innovadores del concepto de tiempo geológico que pueden ser utilizados en diferentes años de escolaridad.
- Reflexionar sobre la naturaleza del conocimiento científico y de los procesos involucrados en su construcción.

En la concepción y en el desarrollo del seminario se privilegiaron los tres aspectos que a continuación se presentan: valoración del conocimiento profesional del profesorado; aproximación a la investigación en Didáctica de las Ciencias de la Tierra; reflexión sobre los conocimientos geológicos y didácticos y las prácticas lectivas.

A – Valoración del conocimiento profesional del profesorado

Se han tenido en cuenta en este seminario los conocimientos i) científico del contenido, ii) didáctico del contenido, iii) curricular y iv) de las finalidades de la Educación en Ciencias. En la tabla I se presentan las actividades desarrolladas y los contenidos abordados y discutidos para promover el conocimiento profesional de los profesores participantes adaptados de Shulman (1987).

B – Aproximación a la investigación en Didáctica de las Ciencias de la Tierra

Se discutieron con los profesores las diferentes etapas del proyecto de investigación, así como sus resultados que culminaron en la construcción de los materiales curriculares.

Procedimientos de los estudios piloto y principal

Después del análisis del cuestionario utilizado para identificar las concepciones de alumnos del

TIPO DE CONOCIMIENTO RELEVANTE PARA LA DOCENCIA		ACTIVIDADES DESARROLLADAS Y CONTENIDOS ABORDADOS
Conocimiento	Científico del contenido	Charla: i) "Temas para esbozar una reflexión de pensamiento sobre el significado del tiempo en la experiencia vital y existencial del hombre en el planeta Tierra"; ii) "Tiempo geológico - contribuciones a su comprensión"; iii) "Tiempo y tiempos en la historia de la Tierra".
		Debate plenario sobre los temas presentados.
	Didáctico del contenido	Taller "Materiales curriculares en la enseñanza del tiempo geológico - concepción basada en la investigación (Parte I)"; "Análisis y debates (Parte II)"; "Evaluación de la aplicación (Parte III)".
		Sesión plenaria: "Apreciación crítica de los profesores participantes sobre los materiales curriculares, teniendo en cuenta un guión orientador".
	Del currículo	Charlas: i) "Tiempo geológico - simplicidad <i>versus</i> complejidad"; ii) "Tiempo geológico - su importancia en los <i>currícula</i> de las enseñanzas básica y secundarias en la promoción de la ciudadanía"; iii) "Tiempo geológico - implicaciones en la enseñanza y en el aprendizaje".
	De las finalidades de la educación en ciencias	Conferencia: "Enseñanza de las Ciencias de la Tierra y socioconstructivismo". Debate plenario sobre los contenidos presentados.

Tabla I. Actividades desarrolladas y contenidos abordados, teniendo en cuenta el tipo de conocimiento relevante para la docencia. Elaboración: autores.

7.º grado, se discutió sobre la importancia atribuida al concepto de tiempo geológico. A continuación, se reflexionó sobre los procedimientos adoptados, tanto a nivel del estudio piloto como del estudio principal, como se presenta en la tabla II.

Análisis de los resultados de los estudios piloto y principal

Los resultados de los estudio piloto y principal demuestran que los alumnos: tienen más dificultad en la asociación correcta del tiempo en los fenómenos lentos (p.ej., la erosión de una montaña) que en fenómenos más rápidos (p.ej., terremotos); valoran el tiempo en la comprensión de eventos geológicos (p.ej., tectónica de placas, extinción de los dinosaurios, formación de montañas); más de la mitad de los alumnos encuestados considera que el tiempo geológico no es importante en la comprensión de acontecimientos relacionados con la historia de la Tierra

(p.ej., evolución de la vida en la Tierra). Algunos alumnos consideran incluso que el tiempo geológico es prescindible en el aprendizaje de la Ciencias de la Tierra y asocian este concepto a fenómenos no relacionados con acontecimientos geológicos, como lo muestran los indicadores presentados en la Fig. 3.

A continuación, se presentaron los materiales curriculares mencionados en "Elaboración de materiales curriculares". Con la presentación de los materiales curriculares (taller - parte I, II y III) se pretendió: i) discutir y fundamentar las decisiones tomadas en la preparación de los materiales curriculares; ii) sensibilizar al profesorado participante sobre la importancia que la investigación en didáctica puede tener en la mejora de las prácticas del profesorado y en el aprendizaje del alumnado; iii) conocer la opinión del profesorado participante en relación con los materiales curriculares construidos y la relevancia de la investigación realizada.

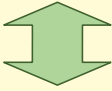
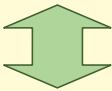
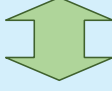
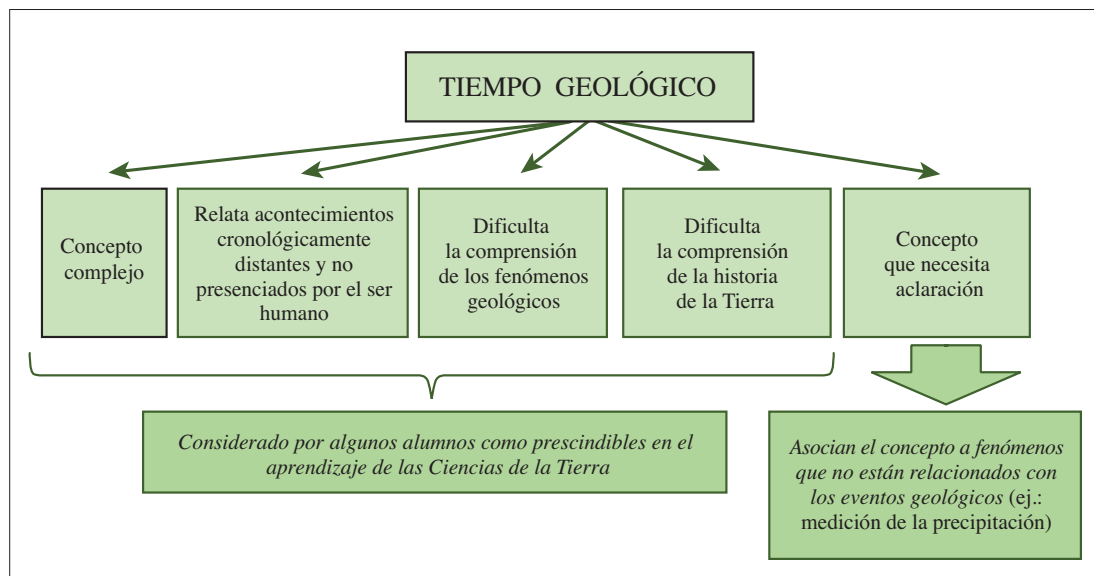
ESTUDIO PILOTO		ESTUDIO PRINCIPAL
- Construcción de un cuestionario	Conceptualización y definición de objetivos	- Reformulación del cuestionario
	Elaboración de las cuestiones	- Implementación del cuestionario (432 alumnos del 7.º grado de 21 escuelas)
- Validación del cuestionario ante un panel de jueces		- Análisis de los resultados obtenidos en el cuestionario (análisis de contenido y análisis estadístico descriptivo)
- Implementación del cuestionario (54 alumnos del 7.º grado de 3 escuelas)		 Reflexión sobre los resultados  Diseño de materiales curriculares
- Análisis de los resultados obtenidos en el cuestionario (análisis de contenido y análisis estadístico descriptivo)	 Reflexión sobre los resultados	

Tabla II. Etapas de la investigación que permitieron identificar concepciones del alumnado y proporcionaron indicadores para la construcción de los materiales curriculares.

Fig. 3. Algunos indicadores que derivaron de la aplicación del cuestionario al alumnado y que se han compartido con el profesorado en el taller.



C – Reflexión sobre los conocimientos geológicos y didácticos y las prácticas lectivas

La discusión y reflexión sobre los materiales elaborados se llevó a cabo en torno al concepto de tiempo geológico, así como sobre sus preocupaciones y experiencias en el enfoque temático del tiempo geológico y, además, en la presentación de sugerencias para posibles nuevos enfoques. El profesorado realizó una evaluación de los materiales curriculares propuestos, orientada por un guion que se centró en los siguientes tópicos: articulación de los materiales con los programas educativos, potencialidades educativas, dificultades en la implementación y sugerencias de mejora. El profesorado participante expresó opiniones generalmente favorables en relación con las estrategias globales seguidas en el estudio. Sin embargo, también mostraron posiciones críticas a ciertas decisiones, tales como:

- La complejidad de los materiales curriculares para el nivel del alumnado (7.º grado);
- El tiempo necesario para la aplicación de los materiales curriculares fue considerado demasiado largo, dificultando el enfoque de las otras temáticas previstas.
- La implementación de las diferentes secciones de los materiales curriculares presentados por separado y en diferentes momentos, a lo largo del año escolar, facilitaría el aprendizaje del alumnado de 7.º grado.
- Los materiales presentan grandes potencialidades educativas para ser implementados con alumnos de enseñanza secundaria.

Cabe señalar que las sesiones tuvieron lugar en un contexto de formación recomendada por varios autores, p.ej. Korthagen (2010) y Sá-Chaves (2011), buscando valorizar el trabajo en equipo entre los alumnos (profesores participantes) y los formadores (investigadores).

Evaluación del programa de formación por el profesorado participante

El cuestionario constaba de 12 cuestiones (abiertas y cerradas) y tuvo como objetivo evaluar

las percepciones del profesorado sobre el programa de formación y la importancia del mismo para su actividad profesional.

La tabla III presenta los resultados obtenidos, teniendo en cuenta los aspectos anteriores que se han valorado en la formación y la forma en que se organizó el programa de formación.

Por último, un alto porcentaje de profesores participantes – el 97 % – considera que el seminario estuvo de acuerdo con sus expectativas.

CONSIDERACIONES FINALES

El estudio indica que las dificultades de transposición de esta temática para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias son atenuadas cuando el profesorado profundiza y articula su conocimiento científico y educativo siempre compartiendo sus dudas y experiencias y, también, cuando discuten y analizan instrumentos fundamentales como son los materiales curriculares.

En este estudio, la construcción de estos instrumentos:

- ha tenido en consideración las percepciones del alumnado, que expresó dificultades, p.ej., al comprender el concepto de tiempo y en percibir la construcción de la escala del tiempo geológico (construida con base en rupturas/extinciones) comparado con el calendario solar (marcado por la regularidad);
- ha valorado estrategias contextualizadas por situaciones de proximidad, familiares e históricas, de las cuales surgieron cuestiones como por ej.: ¿Cuáles son los principales acontecimientos que enmarcan la historia de tu vida? ¿Qué acontecimientos sabes de la vida de tu abuelo? ¿Qué datos nos permiten contar la historia de la humanidad? ¿Cuál la duración de la Antigüedad y de la Edad Media?

Los autores opinan que el estudio, innovador, se manifiesta en tres aspectos:

ASPECTOS VALORADOS EN LA APLICACIÓN DEL PROGRAMA DE FORMACIÓN	PERCEPCIONES DEL PROFESORADO PARTICIPANTE	
Valoración del conocimiento profesional del profesorado	Evaluaron de forma excelente (67,2 %) o muy buena (26,2 %) el nivel científico de las conferencias y valorizaron de la diversidad de las intervenciones, como lo ejemplifica la respuesta: "El abordaje de la temática por personas con distintas perspectivas y experiencias" (Q37);	
	Consideran que el nivel científico del Seminario fue bueno (34,4%), muy bueno (52,5 %) o excelente (11,5 %):	
	Reconocen la importancia de conceptos relacionados con la problemática del tiempo geológico (97 %), como revela la respuesta: "El profundizar de conceptos / contenidos relativos al tiempo geológico" (Q42).	
Enfoque de la investigación en Didáctica de las Ciencias de la Tierra	Consideraron que el programa de formación:	Suscitó la discusión de concepciones de los alumnos sobre la problemática del tiempo geológico (mencionado por cerca del 93 % de los participantes);
		Ha permitido el análisis de materiales didácticos contruidos sobre la base de las evidencias de la investigación sobre el tiempo geológico (referido por cerca del 98 % de los encuestados);
		Contribuyó a la reflexión sobre la contribución del tiempo geológico a la promoción de la ciudadanía (mencionado por cerca del 87% de los participantes).
Reflexión sobre los conocimientos geológicos y didácticos y las prácticas lectivas	Consideraron que el programa de formación ha permitido el:	Intercambio de saberes científicos y pedagógicos sobre la temática del tiempo geológico, que son útiles para su actividad profesional (mencionado por cerca del 92 % de los participantes).
		Intercambio y discusión de materiales curriculares innovadores, como lo ejemplifican las respuestas: "Compartir materiales curriculares y su análisis, enmarcados por reflexiones teóricas" (Q10) y "Contacto con materiales curriculares innovadores y la posibilidad de aplicarlos en mis clases" (Q18).
Organización del seminario	Se ha considerado que la:	Duración ha sido buena (50,8 %) o muy buena (37,7 %);
		Organización ha sido buena (27,9 %) o muy buena (68,9 %);
		Documentación proporcionada ha sido buena (50,8 %) o muy buena (41,0 %).

Tabla. III - Percepciones del profesorado en relación con el programa de formación aplicado.

- Construcción de los materiales curriculares involucrando profesores e investigadores con distintas facetas de formación;
- Implementación en el aula por profesores que los ha evaluado en función a la reacción provocada en el alumnado;
- Utilización, en contexto de formación del profesorado, de esta experiencia de elaboración, implementación y evaluación de materiales curriculares. El posterior análisis de la experiencia por el profesorado reveló una clara tendencia favorable.

Se puede decir que este estudio ha proporcionado una contribución didáctica para que el alumnado y el profesorado mejoren en el conocimiento en Educación en Ciencias de la Tierra, para descifrar en el presente, en el contexto de aula (y no sólo), p.ej., los eventos registrados en las rocas, en las secuencias estratigráficas y en las estructuras geológicas, correspondientes a momentos pasados de la historia de la Tierra, fortaleciendo, así, una dimensión de ciudadanía.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud a los demás investigadores participantes en el proyecto (Graça MacDade Monteiro, Luísa Martins, Mário Louro), a los investigadores involucrados en el seminario (Manuel Patrício, Maria Filomena Amador, Rui Dias) y a los profesores de las escuelas básicas y secundarias que participaron en las diferentes etapas del proyecto.

* Este trabajo está financiado por Fondos Nacionales a través de la FCT, I.P. en el ámbito del proyecto UID/CED/00194/2013.

BIBLIOGRAFÍA

Bonito, J., Medina, J., Morgado, M., Rebelo, D., Monteiro, G., Martins, L., y Marques, L. (2011). La naturaleza del tiempo y su complejidad: el caso del tiempo geológico – implicaciones educativas. *DYNA*, 169.78, 247-257. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10174/4322>.

Bonito, J., Marques, L., Morgado, M., Rebelo, D., Medina, J., McDade, G., y Martins, L. (2010). A importância do tempo geológico percebida pelos alunos de 12-13 anos: um estudo realizado em escolas nas zonas Centro e Norte de Portugal. En: *Anais do 45.º Congresso brasileiro de geologia*. Belém: 45.º Congresso Brasileiro de Geologia. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10174/8364>.

Cervato, C., y Frodeman, R. (2013). A importância do tempo geológico: desdobramentos culturais, educacionais e econômicos. *Terrae Didactica*, 10, 67-79. Disponible en: https://www.ige.unicamp.br/terraedidactica/v10_1/6.html.

Clark, I., y Carpenter, J. (2006). Development, Implementation and Evaluation of a Standards-Based Earth Systems Education Course for Middle School Teachers. *Journal of Geoscience Education*, 54.3, 272-282. Disponible en: <https://d320goqmya1dw8.cloudfront.net/files/nagt/jge/abstracts/clarkv54p272.pdf>.

Consejo de la Unión Europea (2009). Conclusiones del Consejo de 26 de noviembre de 2009 sobre el desarrollo profesional de profesores y directores de centros docentes (2009/C 302/04). Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2009:302:0006:0009:EN:PDF>.

Cruz, E., Pombo, L., y Costa, N. (2008). Dez anos (1997-2007) de estudos sobre o impacto de Cursos de Mestrado nas práticas de Professores de Ciências em Portugal. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 8.1, 1-22. Disponible en: <https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/2224/1623>.

Davis, J. (2016). *The birth of the Anthropocene*. Oakland: University of California Press.

Decker, T., Summers, G., y Barrow, L. (2007). The Treatment of Geological Time... the History of Life on Earth in high school biology textbooks. *The American Biology Teacher*, 69.7, 401-405. doi:[http://dx.doi.org/10.1662/0002-7685\(2007\)69\[401:TTOGTT\]2.o.CO;2](http://dx.doi.org/10.1662/0002-7685(2007)69[401:TTOGTT]2.o.CO;2)

Dodick, J., y Orion, N. (2003). Measuring Student Understanding of Geological Time. *Science Education*, 87, 708-731. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sce.1057/pdf>.

Elias, N. (1989). *Sobre el tiempo*. México: Fondo de Cultura Económica.

Ernst, W. G. (2000). *Earth systems. Processes and issues*. New York: Cambridge University Press.

Escribano Ródenas, M. (2008). La medida del tiempo geológico: un reto en secundaria. *Cuadernos del Museo Geominero*, 11, 119-127.

García Cruz, C. M. (1998). De los obstáculos epistemológicos a los conceptos estructurantes: Una aproximación a la enseñanza-aprendizaje de la geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 16.2, 223-230. Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21538/21372>.

García Cruz, C. M. (1999). La edad de la Tierra y otras cosas por el estilo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 7.2, 94-101 (1999). Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/88544/132531>.

Grossman, P., y Thompson, C. (2008). Learning from curriculum materials: Scaffolds for new teachers? *Teaching and Teacher Education*, 24.8, 2014-2026. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/0742051X/24>.

Korthagen, J. (2010). La práctica, la teoría y la persona en la formación del profesorado. *Revista Interuniversitaria de Formación de Profesorado*, 24.2, 83-101. Disponible en: http://www.aufop.com/aufop/uploaded_files/articulos/1279236671.pdf.

Korthagen, F. (2004). In search of the essence of a good teacher: towards a more holistic approach in teacher education.

Teaching and Teacher Education, 20.1, 77-97. Disponible en: <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/29535>.

Malerba, J. (1994). Ensaio sobre o tempo. *Estudos históricos*, 7.14, 300-304. Disponible en: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/reh/article/view/1980/1119>.

Marques, L., y Thompson, D. (1997). Portuguese students' understanding at age 10/11 and 14/15 of the origin and nature of the Earth and the development of Life. *Research Science & Technological Education*, 15, 29-51. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/0263514970150103>.

Marques, L., Monteiro, G., Morgado, M., Rebelo, D., Bonito, J., Medina, J., y Martins, L. (2011). Deep time: from the complexity of the concept, to the implementation and assessment of curriculum materials, towards the development of citizenship. En: *VIII International conference geology at school and university: geology and civilization* (tome III, scientific papers) (pp. 28-32). Saint-Petersburg: University of Russia. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10174/4267>.

Medina, J., McDade, G., Bonito, J., Martins, L., Morgado, M., Rebelo, D., y Marques, L. (2010). A idade da Terra numa perspectiva histórica. *e-Terra*, 15(6), 1(4)-4(4). Disponible en: <http://metododirecto.pt/CNG2010/index.php/vol/article/view/320/305>.

Medina, J., Rebelo, D., Morgado, D., Monteiro, G., Bonito, J., Martins, L., y Marques, L. (2012). El tiempo geológico: una contribución para la ciudadanía. En: A. M. Sarmiento, M. Cantano, y G. R. Almodôvar (orgs.), *Comunicaciones del XVII simposio sobre enseñanza de la Geología* (pp. 267-274). Huelva: Universidad de Huelva. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10174/7556>.

Medina, J., Rebelo, D., Morgado, M., McDade, G., Bonito, J., Martins, L., V., y Marques, L. (2013). Una contribución para la educación de la ciudadanía: el tiempo geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21.1, 38-47. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10174/8797>.

Morgado, M., Rebelo, D., Monteiro, G., Bonito, J., Medina, J., Marques, L., y Martins, L. (2010). O tempo geológico e a aprendizagem da geologia: concepções de alunos do 7.º ano do ensino básico (12-13 anos). En: L. Alcalá, y L. Mampel (coords.), *XVI Simposio sobre Enseñanza de la Geología* (pp. 197-204). Teruel: Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel – Dinópolis. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10174/4416>.

Morgado, M., Rebelo, D., Monteiro, G., Bonito, J., Medina, J., Martins, L., y Marques, L. (2012). O tempo geológico na formação de professores de geociências. En: A. M. Sarmiento, M. Cantano, y G. R. Almodôvar (orgs.), *Comunicações do XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología* (pp. 204-209). Huelva: Universidad de Huelva. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10174/7530>.

OCDE (2015). *Education Policy Outlook 2015. Making Reforms Happen*. OECD Publishing. Disponible en: https://www.oecd.org/edu/EPO%202015_Highlights.pdf.

Pecore, J., Christensen, B., Mobley, H. y Hanna, N. (2007). Earth Core: Enhancing Delivery of Geoscience Content in a Diverse School System During Times of Changing State Standards. *Journal of Geoscience Education*, 55.6, 589-595. Disponible en: <http://nagt-jge.org/doi/pdf/10.5408/1089-9995-55.6.589>.

Pedrinaci, E. (1993). La construcción histórica del concepto de tiempo geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 11.3, 315-323. Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21301/93271>.

Pedrinaci, E. (2013). Alfabetización en Ciencias de la Tierra y competencia científica. *Enseñanza de las Ciencias*

de la Tierra, 21.2, 208-214. Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/274153/362246>.

Pedrinaci, E., y Berjillos, P. (1994). El concepto de tiempo geológico: orientaciones para su tratamiento en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2.1, 240-251. Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/88138/141611>.

Pedrinaci, E., y García de la Torre, E. (1992). El concepto de tiempo geológico: una perspectiva histórica. *Simposios: III Congreso Geológico de España*, 1, 450-459. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1339237>.

Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro, P., Almodóvar, G., Barrera, J. L., Belmonte, A. et al. (2013). Alfabetización en Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21.2, 117-129. Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/274145/362238>.

Rebello, D., Morgado, M., Marques, L., Monteiro, G., Louro, M., Martins, L., Bonito, J., y Medina, J. (2009). Da complexidade do conceito de tempo geológico às dificuldades de alunos do 3.º ciclo do ensino básico. En: F. Paixão, y J. R. Jorge (coords.), *Actas do XIII Encontro Nacional de Educação em Ciências*. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10174/4854>.

Rebello, D., Morgado, M., Monteiro, G., Bonito, J., Medina, J., Martins, L., y Marques, L. (2011). O tempo geológico na formação de professores: das concepções de alunos à construção de materiais didáticos. En: A. Barca et al. (orgs.), *Actas do XI Congresso Internacional Galego-Português de Psicopedagogia* (pp. 713-722). La Coruña: Revista Galego-Portuguesa de Psicoloxía e Educación e Universidade do Minho. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10174/4346>.

Sequeiros, L., Pedrinaci, E., y Berjillos, P. (1996). Cómo enseñar y aprender los significados del tiempo geológico: algunos ejemplos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4.2, 113-119. Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/ECT/article/viewFile/88225/115538&a=bi&pagnumber=1&w=100>.

Sá-Chaves, I. (2011). *Formação, conhecimento e supervisão: contributos nas áreas da formação de professores e de outros profissionais* (3.ª ed.). Aveiro: Universidade de Aveiro.

Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57.1, 1-21. Disponible en: <http://hepgjournals.org/doi/abs/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411?code=hepgsite>.

Tera, F. (1981). Aspects of isochronism in Pb isotope systematic – application to planetary evolution. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 45, 1439-1448. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00167037/45/9>.

Trend, R. D. (2000). Conceptions of geological time among primary teacher trainees, with reference to their engagement with geoscience, history, and science. *International Journal Science Education*, 22.5, 539-555. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/095006900289778>.

Trend, R. D. (2009). The power of deep time in geoscience education: linking “interest”, “threshold concepts” and “self-determination theory”. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologia*, 54.1, 7-12. Disponible en: <http://scholarcommons.usf.edu/geologia/vol54/iss1/art2/>.

USGS (2007). *Age of the Earth*. Disponible en: <https://pubs.usgs.gov/gip/geotime/age.html>.

Yonn, S., y Peate, D. (2015). ‘Teaching What I Learned’: Exploring students’ Earth and Space Science learning experiences in secondary school with a particular focus on their comprehension of the concept of ‘geologic time’. *International Journal Science Education*, 37.9, 1436-1453. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500693.2015.1041434?journalCode=tsed20>. ■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 23 enero de 2017 y aceptado definitivamente para su publicación el 8 de septiembre de 2017.